

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-232273  
(43)Date of publication of application : 02.09.1998

(51)Int.Cl. G01R 31/36  
H01M 10/48

(21)Application number : 09-346160 (71)Applicant : MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD  
(22)Date of filing : 16.12.1997 (72)Inventor : TAMESUE KAZUHIKO  
HATTA SHINICHIRO  
NAKAO TAKETOSHI  
KUMAMOTO YOSHINORI

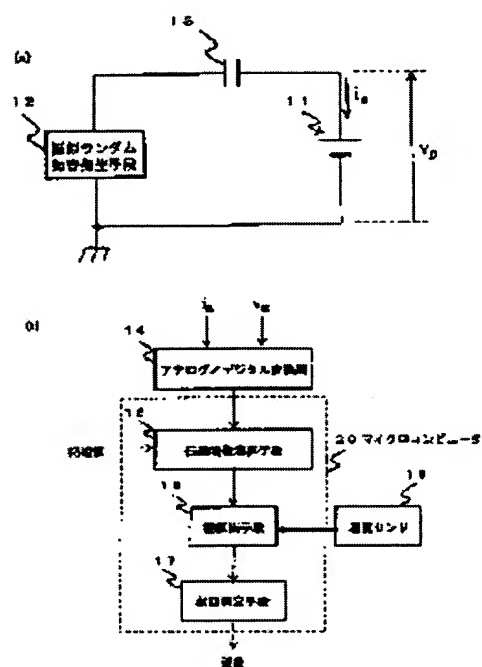
(30)Priority  
Priority number : 08337088 Priority date : 17.12.1996 Priority country : JP

## (54) METHOD AND APPARATUS FOR ANALYZING STATE OF BATTERY

### (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a method and apparatus for analyzing the state of a battery for accurately analyzing the state such as a residual capacity of the battery by a low cost.

SOLUTION: An AC voltage  $v_B$  and AC current  $i_B$  of a battery 11 are sampled by an analog-digital converter 14 in the state that an AC signal output from a pseudo random noise generating means 12 is applied to the battery 11 to be analyzed via an impedance element 13. A transfer function of a discrete system having the battery 11 and the element 13 is estimated and calculated by a transfer function calculating means 15 from the obtained data, and a polarity of the function of an AC equivalent circuit of the battery 11 is calculated from the function of the system by a polarity calculating means 16. A state deciding means 17 decides the state of the battery 11 by using correlation to the polarity of the function of the equivalent circuit. Since the function of the system is used, an analog signal processing is not required, and the respective means can be realized, for example, by a microcomputer 20.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 04.08.2000  
[Date of sending the examiner's decision of rejection]  
[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]  
[Date of final disposal for application]  
[Patent number] 3402167  
[Date of registration] 28.02.2003  
[Number of appeal against examiner's decision of rejection]  
[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]  
[Date of extinction of right]



**Japanese Publication for Unexamined Patent Application**

**No. 10-232273/1998 (Tokukaihei 10-232273)**

A. Relevance of the above-identified Document

This document has relevance to claims 1 and 3 to 12 of the present application.

B. Translation of the Relevant Passages of the Document

See also the attached English Abstract.

[CLAIMS]

[CLAIM 1]

A battery state analyzing method for analyzing a state of a battery, characterized by comprising the steps of:

performing an estimating calculation of a transfer function of a discrete system of a system including the battery, in accordance with time-series data of (a) an alternating voltage applied to the battery and (b) an alternating current applied to the battery; and

analyzing the state of the battery by using the transfer function of the discrete system.

[CLAIM 2]

A battery state analyzing method for analyzing a state of a battery, characterized by comprising the steps of:



(i) applying an alternating signal to the battery that is to be analyzed, and, while the alternating current is applied to the battery, sampling an alternating voltage applied to the battery and an alternating current applied to the battery; and

(ii) performing an estimating calculation of a transfer function of a discrete system of a system including the battery, by using, as time-series data, the alternating voltage and the alternating current, which are sampled in said step (i),

the state of the battery being analyzed by using the transfer function of the discrete system, which is calculated by the estimating calculation in said step (ii).

[CLAIM 10]

The battery state analyzing method as set forth in claim 2, further comprising the step of:

(iii) calculating, by using the transfer function of the discrete system, which is calculated by the estimating calculation in said step (ii), a pole of the transfer function of the discrete system, and converting the pole into a pole of a transfer function of a continuous system of an alternate equivalent circuit of the battery,

the state of the battery being analyzed by using the pole, which is calculated in said step (iii), of the transfer function of the continuous system of the alternate equivalent circuit of the battery.

[CLAIM 14]



The battery state analyzing method as set forth in claim 10, further comprising the step of:

(iv) judging a remaining amount of the battery by using the pole, which is calculated in said step (iii), of the transfer function of the continuous system of the alternate equivalent circuit of the battery in accordance with a correlation, which is found out in advance, between the pole of the transfer function of the continuous system of the alternate equivalent circuit of the battery and the remaining amount of the battery.

[CLAIM 15]

A battery state analyzing apparatus for analyzing a state of a battery, characterized by comprising:

means for performing an estimating calculation of a transfer function of a discrete system of a system including the battery, in accordance with time-series data of (a) an alternating voltage applied to the battery and (b) an alternating current applied to the battery,

the battery state analyzing apparatus analyzing the state of the battery in accordance with the transfer function of the discrete system, which is calculated by the estimating calculation by said means.

[CLAIM 16]

A battery state analyzing apparatus for analyzing a state of a





battery, characterized by comprising:

alternating signal applying means for applying an alternating signal to the battery that is to be analyzed;

sampling means for sampling, when the alternating signal is applied to the battery by the alternating current applying means, an alternating voltage and an alternating current which are applied to the battery; and

transfer function estimating calculation means for performing an estimating calculation of a transfer function of a discrete system of a system including the battery, in accordance with time-series data of the alternating voltage and the alternating current which are sampled by the sampling means.

[CLAIM 22]

The battery state analyzing apparatus as set forth in claim 16, further comprising:

pole calculation means for calculating, in accordance with the transfer function, which is calculated by the transfer function estimating calculation means, of the discrete system of the system including the battery, the pole of the transfer function of the discrete system, and converting the pole into a pole of a transfer function of a continuous system of an alternate equivalent circuit of the battery,

the battery state analyzing apparatus analyzing the state of the battery in accordance with the pole, which is calculated by the



pole calculation means, of the transfer function of the continuous system of the alternate equivalent circuit.

[CLAIM 27]

The battery state analyzing apparatus as set forth in claim 22, further comprising:

state judging means for judging a remaining amount of the battery (a) in accordance with a correlation, which is found out in advance, between the pole of the transfer function of the continuous system of the alternate equivalent circuit of the battery and the remaining amount of the battery, and (b) in accordance with the pole, which is calculated by the pole calculation means, of the transfer function of the continuous system of the alternate equivalent circuit of the battery.

[0007]

[MEANS TO SOLVE THE PROBLEMS]

To solve the problem above, the present invention, paying attention to the fact that there is a correlation between a transition of a pole of a transfer function of an alternating equivalent circuit of a battery and a remaining amount of a battery, is so arranged that, first, a transfer function of a discrete system of a system including the battery is calculated by an estimating calculation, and then, by using the transfer function, a pole of a transfer function of an alternating equivalent circuit of the battery is calculated, and a



state of the battery is detected by using the pole. In the present invention, analog signal processing is no longer required, because the estimating calculation of the transfer function of the discrete system can be performed by digital signal processing.

[0008]

A solution provided by the invention of claim 1 is a battery state analyzing method for analyzing a state of a battery such as a remaining amount of the battery, comprising the steps of performing an estimating calculation of a transfer function of a discrete system of a system including the battery, in accordance with time-series data of (a) an alternating voltage applied to the battery and (b) an alternating current applied to the battery; and analyzing the state of the battery by using the transfer function of the discrete system.

[0009]

According to the invention of claim 1, all processing can be carried out by the digital analog processing, and the analog signal processing is therefore not required in performing the estimating calculation of the transfer function of the discrete system of the system including the battery, in accordance with time-series data of (a) the alternating voltage applied to the battery and (b) the alternating current applied to the battery. This makes it possible to perform the estimating calculation by using an LSI including a one-chip microcomputer, a DSP, or the like. Therefore, it requires lower costs to produce an apparatus. At the same time,



susceptibility to noise is decreased. Moreover, the state of the battery can be analyzed by calculating, for example, the pole of the transfer function of the alternating equivalent circuit of the battery by using the transfer function of the discrete system, and by using the correlation between the pole of the transfer function of the alternating equivalent circuit of the battery and the state of the battery.

[0010]

Claim 2, which further specifies the invention of claim 1, claims a battery state analyzing method for analyzing a state of a battery such as a remaining amount of the battery comprises the steps of (i) applying an alternating signal to the battery that is to be analyzed, and, while the alternating current is applied to the battery, sampling an alternating voltage applied to the battery and an alternating current applied to the battery; and (ii) performing an estimating calculation of a transfer function of a discrete system of a system including the battery, by using, as time-series data, the alternating voltage and the alternating current, which are sampled in said step (i), the state of the battery being analyzed by using the transfer function of the discrete system, which is calculated by the estimating calculation in said step (ii).

[0022]

Moreover, the invention of claim 10 is the battery state analyzing method as set forth in claim 2, further comprising the step of (iii) calculating, by using the transfer function of the discrete





system, which is calculated by the estimating calculation in said step (ii), a pole of the transfer function of the discrete system, and converting the pole into a pole of a transfer function of a continuous system of an alternate equivalent circuit of the battery, the state of the battery being analyzed by using the pole, which is calculated in said step (iii), of the transfer function of the continuous system of the alternate equivalent circuit of the battery.

[0026]

Moreover, the invention of claim 14 is the battery state analyzing method as set forth in claim 10, further comprising the step of (iv) judging a remaining amount of the battery by using the pole, which is calculated in said step (iii), of the transfer function of the continuous system of the alternate equivalent circuit of the battery in accordance with a correlation, which is found out in advance, between the pole of the transfer function of the continuous system of the alternate equivalent circuit of the battery and the remaining amount of the battery.

[0027]

A solution provided by the invention of claim 15 is a battery state analyzing apparatus for analyzing a state of a battery such as a remaining amount of the battery, the apparatus comprising means for performing an estimating calculation of a transfer function of a discrete system of a system including the battery, in accordance with time-series data of (a) an alternating voltage applied to the battery and (b) an alternating current applied to the



battery, the battery state analyzing apparatus analyzing the state of the battery in accordance with the transfer function of the discrete system, which is calculated by the estimating calculation by said means.

[0028]

According to the invention of claim 15, in performing the estimating calculation of the transfer function of the discrete system, all the processing can be carried out by the digital signal processing, and the analog signal processing is therefore not required. This makes it possible to realize, by using a one-chip microcomputer, a DSP, or the like, the means for performing, in accordance with time-series data of (a) the alternating voltage applied to the battery and (b) the alternating current applied to the battery, the estimating calculation of the transfer function of the discrete system of the system including the battery. Therefore, it requires lower costs to produce an apparatus. At the same time, susceptibility to noise is decreased. Moreover, by using the transfer function of the discrete system, the state of the battery can be analyzed by, for example, calculating the pole of the transfer function of the alternating equivalent circuit of the battery, which is calculated by said means, and by using the correlation between the pole of the transfer function of the alternating equivalent circuit of the battery and the state of the battery.

[0029]

Claim 16, which further specifies the invention of claim 15,



claims a battery state analyzing apparatus for analyzing a state of a battery such as a remaining amount of the battery comprises alternating signal applying means for applying an alternating signal to the battery that is to be analyzed; sampling means for sampling, when the alternating signal is applied to the battery by the alternating current applying means, an alternating voltage and an alternating current which are applied to the battery; and transfer function estimating calculation means for performing an estimating calculation of a transfer function of a discrete system of a system including the battery, in accordance with time-series data of (a) the alternating voltage and (b) the alternating current, which are sampled by the sampling means.

[0039]

The invention of claim 22 is the battery state analyzing apparatus as set forth in claim 16, further comprising pole calculation means for calculating, in accordance with the transfer function, which is calculated by the transfer function estimating calculation means, of the discrete system of the system including the battery, the pole of the transfer function of the discrete system, and converting the pole into a pole of a transfer function of a continuous system of an alternate equivalent circuit of the battery, the battery state analyzing apparatus analyzing the state of the battery in accordance with the pole, which is calculated by the pole calculation means, of the transfer function of the continuous system of the alternate



equivalent circuit.

[0044]

The invention of claim 27 is the battery state analyzing apparatus as set forth in claim 22, further comprising state judging means for judging a remaining amount of the battery in accordance with a correlation, which is found out in advance, between the pole of the transfer function of the continuous system of the alternate equivalent circuit of the battery and the remaining amount of the battery, and in accordance with the pole, which is calculated by the pole calculation means, of the transfer function of the continuous system of the alternate equivalent circuit of the battery.

[0059]

## (2) Estimating Calculation of Battery Transfer Function

In the present invention, the battery is assumed to be a time-invariant linear system, and the total transfer function  $G(s)$  given by Equation (4) is given as the following general transfer function in the discrete system.

[0060]

[Math 4]

$$G(z, \theta) = \frac{b_1 z^{-1} + \dots + b_n z^{-n}}{1 + a_1 z^{-1} + \dots + a_n z^{-n}} = \frac{B(z)}{A(z)} \dots (7)$$

[0061]

The transfer function  $G(z, \theta)$  is estimated by deciding coefficients in Equation (7) in accordance with input and output





signals to and from the battery. In general, a method for estimating a transfer function of a system in accordance with input and output data is called “system identification”. Fig. 4 illustrates a model used in the system identification. Where the noise transfer function  $H_n(z, \theta)$  is given by:

$$H_n(z, \theta) = 1/A(z) \dots (8),$$

the model is an autoregressive (ARX) model having an external input. As shown in Fig. 4, where an output signal  $y(t)$  is given by a linear combination of an input signal  $u(t)$  and a noise signal  $e(t)$ , an output response is given by:

$$A(z)y(t) = B(z)u(t) + e(t) \dots (9).$$

[0062]

Where a coefficient parameter  $\theta$  of the transfer function  $G(z, \theta)$ , which is to be estimated, and a regression vector  $\phi(t)$  are given by:

[0063]

$$\theta = (a_1 \dots a_n b_1 \dots b_n) \dots (10); \text{ and}$$

$$\phi(t) = [-y(t-1) \dots -y(t-n) u(t-1) \dots u(t-m)]^T \dots (11),$$

[0064]

Equation (9) gives:

$$y(t) = \phi^T \theta + e(t) \dots (12).$$

Where a matrix calculation in Equation (12) is solved by, for example, an RLS iterative method, the coefficient parameter  $\theta(t)$  is given by:

$$\theta(t) = \theta(t-1) + K(t)\varepsilon(t);$$



$$\varepsilon(t)=y(t)-\phi^T(t)\theta(t-1);$$

$$K(t)=\frac{P(t-1)\phi(t)}{1+\phi^T(t)P(t-1)\phi(t)}; \text{ and}$$

$$P(t)=\frac{P(t-1)-P(t-1)\phi(t)\phi^T(t)P(t-1)}{1+\phi^T(t)P(t-1)\phi(t)} \dots (13).$$

[0088]

The state of the battery can be evaluated by the remaining amount, for example. The remaining amount is a remaining amount of electricity charged in the battery. There is a correlation between the transition of the pole of the battery transfer function and the remaining amount of the battery.

[0091]

[EMBODIMENTS]

...Fig. 8 illustrates an arrangement of a battery state analyzing apparatus in one embodiment of the present invention. Fig. 8(a) illustrates a system for applying an alternating signal to the battery. Fig. 8(b) is a block diagram illustrating an arrangement of a section that analyzes the state of the battery. The battery state analyzing apparatus shown in Fig. 8 evaluates, by estimation, a state of a battery 11 that is to be analyzed. The state of the battery 11 is a remaining amount, for example. In Fig. 8, referential numeral 11 denotes the battery that is to be analyzed, referential numeral 12 denotes pseudo-random noise generating means for outputting the alternating signal that is to be applied to the battery 11, referential numeral 13 denotes an impedance element provided



between the battery 11 and the pseudo-random noise generating means 12, and referential numeral 14 denotes an analog/digital converter, which is sampling means for sampling an alternating voltage  $v_B$  applied to the battery 11 and an alternating current  $i_B$  applied to the battery, and performing conversion from analog values to digital values.

[0092]

Referential numeral 15 denotes transfer function calculation means for performing, in accordance with output data from the analog/digital converter 14, an estimating calculation of a transfer function of a discrete system that expresses properties of a system including the battery 11 and the impedance element 13. Referential numeral 16 denotes pole calculation means for calculating a pole of a transfer function of a continual system of the battery 11 by using the transfer function of the discrete system, which is calculated by the transfer function calculation means 15. Referential numeral 17 denotes a state judging means for judging the state of the battery in accordance with the pole calculated by the pole calculation means 16. Referential numeral 18 is a temperature sensor, which is a temperature measuring means for measuring a temperature around the battery 11 and outputting the temperature to the pole calculation means 16. In the present embodiment, the transfer function calculation means 15, the pole calculation means 16, and the state judging means 17 are realized by a microcomputer 20.

[0093]



Fig. 9 is a flowchart illustrating operations of the battery state analyzing apparatus of the present embodiment shown in Fig. 8.

[0094]

In step S1, the alternating signal is applied to the battery 11, which is to be analyzed.

[0098]

Then, in step S2, the alternating voltage  $v_B$  applied to the battery 11 and the alternating current  $i_B$  applied to the battery 11 are sampled, so as to obtain time-series input/output data, which is to be used in performing the estimating calculation of the transfer function of the discrete system. Step S2 is performed by the analog/digital converter 14. The alternating voltage  $v_B$  applied to the battery 11 and the alternating current  $i_B$  applied to the battery 11 respectively correspond to an input signal  $u(t)$  and an output signal  $y(t)$  in the ARX model shown in Fig. 4. Therefore, such a regression vector  $\phi(t)$  that is represented by Equation (11) by using an input/output data system is calculated from the digital values that are sampled, at a predetermined time interval, by the analog/digital converter 14. In other words, by the analog/digital converter 14, which is the sampling means, the alternating voltage  $v_B$  applied to the battery 11 and the alternating current  $i_B$  applied to the battery 11 are turned into the time-series input/output data to be used in the estimating calculation of the transfer function of the discrete system.





[0099]

Then, in step S3, the estimating calculation of the transfer function of the discrete system is performed by using the time-series input/output data obtained in step S2. Step S3 is performed by the transfer function calculation means 15 in accordance with the procedure described in “(2) Estimating Calculation of Battery Transfer Function”, which is a part of the description of the basic principles of the present invention. Specifically, the transfer function calculation means 15 calculates the regression vector  $\phi(t)$  in Equation (11), where the alternating voltage  $v_B$  applied to the battery 11 and the alternating current  $i_B$  applied to the battery 11, which are sampled by the analog/digital converter 14, are the time-series input/output data  $u(t)$  and  $y(t)$ , respectively. Then, the transfer function calculation means 15 performs the transfer function estimating calculation as represented by Equation (13) by using the initial values given by Equation (14) or Equation (15), so as to calculate the coefficient parameter  $\theta(t)$  in Equation (10). In this way, the transfer function calculation means 15 calculates the transfer function of the discrete system as represented by Equation (7).

[0100]

Then, in step S4, the pole of the transfer function of the continual system is calculated by using the transfer function of the discrete system, which is obtained in step S3. Step S4 is performed by the pole calculation means 16 in accordance with the procedures



described in “(3) Calculation of Pole of Discrete System” and “(4) Conversion of Pole from Discrete System to Continual System”.

[0110]

Finally, in step S5, the remaining amount of the battery is judged from the angular frequency of the pole calculated in step 4.

[0112]

As in the battery state analyzing apparatus in Fig. 8, the battery state analyzing apparatus in Fig. 13 is also capable of judging the state of the battery 11 by calculating the transfer function of the discrete system by sampling the alternating voltage  $v_B$  applied to the battery 11 and the alternating current  $i_B$  applied to the battery 11.

[0115]

Such a battery state analyzing apparatus that judges, from the transfer function calculated by the transfer function calculation means 15, a state of the battery other than the remaining amount is also conceivable. For example, the battery state analyzing apparatus may judge safety, deterioration, and other states of the battery from the transfer function of the discrete system.

[0119]

[EFFECTS OF THE INVENTION]

As described above, according to the present invention, first, the transfer function of the discrete system of the system including the battery is calculated by the estimating calculation, and the pole of the transfer function of the continual system of the equivalent



circuit of the battery is calculated by using the transfer function of the discrete system. Then, the state of the battery is analyzed by using the correlation between the pole of the transfer function of the continual system of the equivalent circuit of the battery and the state of the battery such as the remaining amount. Therefore, the state of the battery can be performed quantitatively without fail.

[0120]

Moreover, in performing the estimating calculation of the transfer function of the discrete system, all the processing can be carried out by the digital signal processing, and the analog signal processing is therefore not required. This makes it possible to use an LSI including a one-chip microcomputer, a DSP, or the like. Therefore, it is possible to realize a high-precision battery state analyzing apparatus at low costs.



(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平10-232273

(43)公開日 平成10年(1998) 9月2日

(51)Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

F I

G 0 1 R 31/36

G 0 1 R 31/36

A

H 0 1 M 10/48

H 0 1 M 10/48

P

審査請求 未請求 請求項の数27 O L (全 19 頁)

(21)出願番号 特願平9-346160

(22)出願日 平成9年(1997)12月16日

(31)優先権主張番号 特願平8-337088

(32)優先日 平8(1996)12月17日

(33)優先権主張国 日本 (J P)

(71)出願人 000005821

松下電器産業株式会社

大阪府門真市大字門真1006番地

(72)発明者 爲末 和彦

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内

(72)発明者 八田 真一郎

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内

(72)発明者 中尾 武寿

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内

(74)代理人 弁理士 滝本 智之 (外1名)

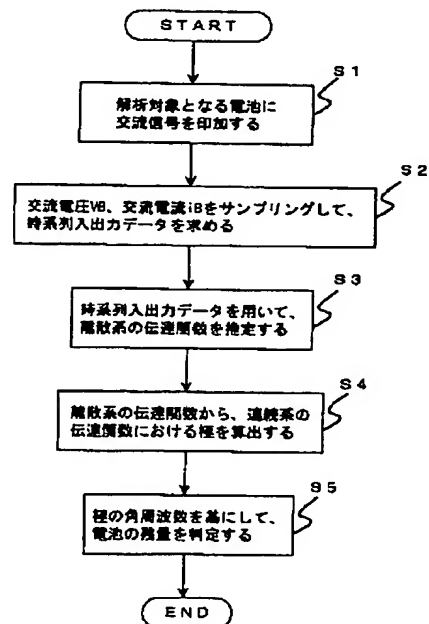
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 電池の状態解析方法及びその装置

(57)【要約】

【課題】 電池の残量等の状態を、低コストかつ高精度で解析することができる電池の状態解析方法及び装置を提供する。

【解決手段】 疑似ランダム雑音発生手段12から出力された交流信号を解析対象の電池11にインピーダンス素子13を介して印加した状態で、電池11の交流電圧 $v_B$ 及び交流電流 $i_B$ をアナログ/デジタル変換器14によってサンプリングする。得られたデータから伝達関数演算手段15によって電池11及びインピーダンス素子13からなる系の離散系の伝達関数を推定演算し、極算出手段16によって離散系の伝達関数から電池11の交流等価回路の伝達関数における極を算出する。状態判定手段17は電池11の状態を、交流等価回路の伝達関数における極との相関関係を用いて判定する。離散系の伝達関数を扱うのでアナログ信号処理は不要になり、各手段は例えばマイクロコンピュータ20によって実現することができる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 電池の状態解析する電池の状態解析方法であって、前記電池にかかる交流電圧及び前記電池に流れる交流電流の時系列データから前記電池を含む系の離散系の伝達関数を推定演算し、この離散系の伝達関数を用いて前記電池の状態を解析することを特徴とする電池の状態解析方法。

【請求項2】 電池状態を解析する電池の状態解析方法であって、解析対象の電池に交流信号を印加し、前記電池に交流信号を印加した状態において、前記電池にかかる交流電圧及び前記電池に流れる交流電流をサンプリングする第1の工程と、前記電池を含む系の離散系の伝達関数を、前記第1の工程でサンプリングした交流電圧及び交流電流の時系列データとして用いて推定演算する第2の工程とを備え、前記第2の工程において推定演算により求めた離散系の伝達関数を用いて、前記電池の状態を解析することを特徴とする電池の状態解析方法。

【請求項3】 請求項2記載の電池の状態解析方法において、前記第1の工程は、交流信号源から発生出力された交流信号をインピーダンス素子を介して解析対象の電池に印加するものであることを特徴とする電池の状態解析方法。

【請求項4】 請求項3記載の電池の状態解析方法において、前記第1の工程は、疑似ランダム雑音信号を発生出力する雑音源を前記交流信号源として用いるものであることを特徴とする電池の状態解析方法。

【請求項5】 請求項2記載の電池の状態解析方法において、前記第1の工程は、電圧オフセット交流信号源から発生出力された直流オフセット電圧を有する交流信号を解析対象の電池に直接印加するものであることを特徴とする電池の状態解析方法。

【請求項6】 請求項5記載の電池の状態解析方法において、前記第1の工程は、直流オフセット電圧を有する疑似ランダム雑音信号を発生出力する雑音源を前記電圧オフセット交流信号源として用いるものであることを特徴とする電池の状態解析方法。

【請求項7】 請求項4又は6記載の電池の状態解析方法において、前記雑音源は、M系列符号あるいはGolomb符号を用いた雑音源であることを特徴とする電池の状態解析方法。

【請求項8】 請求項2記載の電池の状態解析方法において、前記第2の工程は、前記電池の離散系の伝達関数における極の次数は、前記電池の交流等価回路の連続系の伝達関数における極の次数よりも高次であるものとして、前記電池を含む系の離散系の伝達関数の推定演算を行うものであることを特徴とする電池の状態解析方法。

【請求項9】 請求項2記載の電池の状態解析方法において、前記第2の工程は、前記電池を含む系の離散系の伝達関数の係数パラメータに前記電池の交流等価回路か

ら定めた初期値を与え、推定演算の収束性を高めることを特徴とする電池の状態解析方法。

【請求項10】 請求項2記載の電池の状態解析方法において、前記第2の工程において推定演算により求めた離散系の伝達関数から、この離散系の伝達関数における極を求めた後、求めた極を前記電池の交流等価回路の連続系の伝達関数における極に変換する第3の工程を備え、前記第3の工程において求めた前記電池の交流等価回路の連続系の伝達関数における極を用いて、前記電池の状態を解析することを特徴とする電池の状態解析方法。

【請求項11】 請求項10記載の電池の状態解析方法において、前記第1の工程は、交流信号源から発生出力された交流信号をインピーダンス素子を介して解析対象の電池に印加するものであり、前記第3の工程は、前記電池を含む系の離散系の伝達関数の分母の多項式から、前記電池の交流等価回路の連続系の伝達関数における極の次数と前記インピーダンス素子のインピーダンスにおける極の次数との和よりも高い次数の項を切り捨てた後、前記離散系の伝達関数における極を求めるものであることを特徴とする電池の状態解析方法。

【請求項12】 請求項10記載の電池の状態解析方法において、前記第1の工程は、交流信号源から発生出力された交流信号を解析対象の電池に直接印加するものであり、前記第3の工程は、前記電池を含む系の離散系の伝達関数の分母の多項式から、前記電池の交流等価回路の連続系の伝達関数における極の次数よりも高い次数の項を切り捨てた後、前記離散系の伝達関数における極を求めるものであることを特徴とする電池の状態解析方法。

【請求項13】 請求項10記載の電池の状態解析方法において、前記第3の工程は、前記電池の交流等価回路の連続系の伝達関数における極を求めた後、求めた極を前記電池の周囲温度にしたがって補正することを特徴とする電池の状態解析方法。

【請求項14】 請求項10記載の電池の状態解析方法において、予め求めていた、前記電池の交流等価回路の連続系の伝達関数における極と前記電池の残量との相関関係にしたがって、前記第3の工程において求めた、前記電池の交流等価回路の連続系の伝達関数における極を用いて前記電池の残量を判定する第4の工程を備えていることを特徴とする電池の状態解析方法。

【請求項15】 電池状態を解析する電池の状態解析装置であって、前記電池にかかる交流電圧及び前記電池に流れる交流電流の時系列データから前記電池を含む系の離散系の伝達関数を推定演算する手段を備え、この手段により推定演算した離散系の伝達関数に基づいて前記電池の状態を解析することを特徴とする電池の状態解析装置。

【請求項16】 電池状態を解析する電池の状態解析装



置であって、解析対象の電池に交流信号を印加する交流信号印加手段と、前記交流信号印加手段によって前記電池に交流信号が印加されたとき、前記電池にかかる交流電圧及び前記電池に流れる交流電流をサンプリングするサンプリング手段と、前記サンプリング手段によってサンプリングされた交流電圧及び交流電流の時系列データから前記電池を含む系の離散系の伝達関数を推定演算する伝達関数演算手段とを備えていることを特徴とする電池の状態解析装置。

【請求項17】 請求項16記載の電池の状態解析装置において、前記交流信号印加手段は、交流信号を発生出力する交流信号源と、インピーダンス素子とを有しており、前記交流信号源から発生出力された交流信号を前記インピーダンス素子を介して解析対象の電池に印加するものであることを特徴とする電池の状態解析装置。

【請求項18】 請求項17記載の電池の状態解析装置において、前記交流信号源は、疑似ランダム雑音信号を発生出力する雑音源であることを特徴とする電池の状態解析装置。

【請求項19】 請求項16記載の電池の状態解析装置において、前記交流信号印加手段は、直流オフセット電圧を有する交流信号を発生出力する電圧オフセット交流信号源を有しており、前記電圧オフセット交流信号源から発生出力された交流信号を解析対象の電池に印加するものであることを特徴とする電池の状態解析装置。

【請求項20】 請求項19記載の電池の状態解析装置において、前記電圧オフセット交流信号源は、直流オフセット電圧を有する疑似ランダム雑音信号を発生出力する雑音源であることを特徴とする電池の状態解析装置。

【請求項21】 請求項18又は20記載の電池の状態解析装置において、前記雑音源は、M系列符号あるいはGold符号を用いた雑音源であることを特徴とする電池の状態解析装置。

【請求項22】 請求項16記載の電池の状態解析装置において、前記伝達関数演算手段によって求められた前記電池を含む系の離散系の伝達関数からこの離散系の伝達関数における極を求めると共に、求めた極を前記電池の交流等価回路の連続系の伝達関数における極に変換する極算出手段を備え、前記極算出手段によって求めた前記連続系の伝達関数における極に基づいて、前記電池の状態を解析することを特徴とする電池の状態解析装置。

【請求項23】 請求項22記載の電池の状態解析装置において、前記極算出手段は、前記電池を含む系の離散系の伝達関数の分母の多項式を因数分解して、前記離散系の伝達関数における極の複素解を求める因数分解演算手段と、前記因数分解演算手段によって求めた極の複素解から虚数部を切り捨て、残りの実数部から、前記電池の正極及び負極に対応する前記離散系の伝達関数における極を特定する極演算手段と、前記極演算手段によって特定した前記電池の正極及び負極に対応する前記離散系

の伝達関数における極を、前記サンプリング手段によるサンプリング周期に基づいて、前記電池の交流等価回路の連続系の伝達関数における極に変換する極変換演算手段とを備えていることを特徴とする電池の状態解析装置。

【請求項24】 請求項23記載の電池の状態解析装置において、前記交流信号印加手段は、交流信号を発生出力する交流信号源と、インピーダンス素子とを有しており、前記交流信号源から発生出力された交流信号を前記インピーダンス素子を介して解析対象の電池に印加するものであり、前記因数分解演算手段は、前記電池を含む系の離散系の伝達関数の分母の多項式を、前記電池の交流等価回路の連続系の伝達関数における極の次数と前記インピーダンス素子のインピーダンスにおける極の次数との和よりも高い次数の項を切り捨てた上で因数分解を行い、前記離散系の伝達関数における極を求めるものであることを特徴とする電池の状態解析装置。

【請求項25】 請求項23記載の電池の状態解析装置において、前記交流信号印加手段は、直流オフセット電圧を有する交流信号を発生出力する交流信号源を有しており、前記交流信号源から発生出力された交流信号を解析対象の電池に直接印加するものであり、前記因数分解演算手段は、前記電池を含む系の離散系の伝達関数の分母の多項式を、前記電池の交流等価回路の連続系の伝達関数における極の次数よりも高い次数の項を切り捨てた上で因数分解を行い、前記離散系の伝達関数における極を求めるものであることを特徴とする電池の状態解析装置。

【請求項26】 請求項22記載の電池の状態解析装置において、前記電池の周囲温度を計測する温度計測手段を備え、前記極算出手段は、求めた前記電池の交流等価回路の連続系の伝達関数における極を、前記温度計測手段によって計測した前記電池の周囲温度にしたがって補正する極温度補正手段を備えていることを特徴とする電池の状態解析装置。

【請求項27】 請求項22記載の電池の状態解析装置において、予め求めている、前記電池の交流等価回路の連続系の伝達関数における極と前記電池の残量との相関関係にしたがって、前記極算出手段によって求めた前記電池の交流等価回路の連続系の伝達関数における極に基づいて、前記電池の残量を判定する状態判定手段を備えていることを特徴とする電池の状態解析装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、電気自動車、パソコン、又は携帯電話等の携帯機器に搭載される電池の残量等の状態を解析し検知するための電池の状態解析方法及びその装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】電池の残量等の状態を解析する従来の方

法としては、第1に、電池の電圧及び電流を測定する容量試験による方法があり、また第2に、電池の交流インピーダンスを測定し、予め求めておいた交流インピーダンスと電池の残量等の状態との相関から電池の状態を判定する方法がある。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】ところが第1の方法によると、電池の状態の検知精度は良い反面、長時間の測定を要し、また電池の電流電圧測定のためにアナログ信号処理回路が必要になるので、電池の状態解析装置として装置化する場合にはコストがかかるという問題がある。

【0004】また第2の方法によると、第1の方法すなわち容量試験法と比べて測定が短時間で行うことができるという長所があるが、アナログ信号を用いて振幅と位相を測定するため、第1の方法と同様にアナログ信号処理回路が必要になり、装置化する場合にはコストがかかるという問題があり、また雑音に弱いという問題もある。

【0005】我々の将来的な狙いは、電気自動車、パソコン、又は携帯電話等の携帯機器のような電池が搭載される機器に電池の状態解析装置を組み込んで、搭載されている電池の状態をリアルタイムで検知できるようにすることなので、低コストかつ高精度な電池の状態解析装置が望まれる。

【0006】前記のような問題に鑑み、本発明は、電池の残量等の状態を、デジタル信号処理を用いて、低コストかつ精度良く解析することができる電池の状態解析方法及びその方法を用いた装置を提供することを課題とする。

【0007】

【課題を解決するための手段】前記の課題を解決するため、本発明は、電池の交流等価回路の伝達関数における極の推移と電池の残量との間に相関があることに着目し、まず電池を含む系の離散系の伝達関数を推定演算によって求めた上で、この伝達関数から電池の交流等価回路の伝達関数における極を求め、これにより電池の状態を検知するものである。離散系の伝達関数の推定演算はデジタル信号処理によって行うことができるので、本発明ではアナログ信号処理は不要になる。

【0008】請求項1の発明が講じた解決手段は、電池の残量等の状態を解析する電池の状態解析方法として、前記電池にかかる交流電圧及び前記電池に流れる交流電流の時系列データから前記電池を含む系の離散系の伝達関数を推定演算し、この離散系の伝達関数を用いて前記電池の状態を解析するものである。

【0009】請求項1の発明によると、電池にかかる交流電圧及び電池に流れる交流電流の時系列データから電池を含む系の離散系の伝達関数を推定演算するためには、アナログ信号処理は不要であり全てデジタル信号処理によって行うことができるので、ワンチップマイコン

やDSP等によるLSI化が可能になり、装置化した場合のコストが低くなると共に雑音に強くなる。また、離散系の伝達関数からは、例えば電池の交流等価回路の伝達関数における極を求め、電池の交流等価回路の伝達関数における極と電池の状態との間の相関関係を用いて、電池の状態を解析することができる。

【0010】また、請求項2の発明は、請求項1の発明をさらに具体化したものであって、電池の残量等の状態を解析する電池の状態解析方法として、解析対象の電池に交流信号を印加し、前記電池に交流信号を印加した状態において、前記電池にかかる交流電圧及び前記電池に流れる交流電流をサンプリングする第1の工程と、前記電池を含む系の離散系の伝達関数を、前記第1の工程でサンプリングした交流電圧及び交流電流を時系列データとして用いて推定演算する第2の工程とを備え、前記第2の工程において推定演算により求めた離散系の伝達関数を用いて、前記電池の状態を解析するものである。

【0011】そして、請求項3の発明では、前記請求項2の電池の状態解析方法における第1の工程は、交流信号源から発生出力された交流信号をインピーダンス素子を介して解析対象の電池に印加するものとする。

【0012】請求項3の発明によると、インピーダンス素子によって電池と交流信号源との間に直流パスが形成されるのを防ぐことができる。

【0013】さらに、請求項4の発明では、前記請求項3の電池の状態解析方法における第1の工程は、疑似ランダム雑音信号を発生出力する雑音源を前記交流信号源として用いるものとする。

【0014】請求項4の発明によると、疑似ランダム雑音信号を電池に印加することにより、電池の交流等価回路の連続系の伝達関数における極の周波数を全て含む帯域を有するような信号が電池に印加されることになるので、周波数掃引が不要になる。

【0015】また、請求項5の発明では、前記請求項2の電池の状態解析方法における第1の工程は、電圧オフセット交流信号源から発生出力された直流オフセット電圧を有する交流信号を解析対象の電池に直接印加するものとする。

【0016】請求項5の発明によると、直流オフセット電圧を電池の直流電圧に合わせることによって電池と電圧オフセット交流信号源との間に直流パスが形成されるのを防ぐことができるので、インピーダンス素子が不要になる。

【0017】さらに、請求項6の発明では、前記請求項5の電池の状態解析方法における第1の工程は、直流オフセット電圧を有する疑似ランダム雑音信号を発生出力する雑音源を前記電圧オフセット交流信号源として用いるものとする。

【0018】請求項6の発明によると、疑似ランダム雑音信号を電池に印加することにより、電池の交流等価回

路の連続系の伝達関数における極の周波数を全て含む帯域を有するような信号が電池に印加されることになるので、周波数掃引が不要になる。

【0019】そして、請求項7の発明では、前記請求項4又は6の電池の状態解析方法における雑音源は、M系列符号あるいはGol d符号を用いた雑音源であるものとする。

【0020】そして、請求項8の発明では、前記請求項2の電池の状態解析方法における第2の工程は、前記電池の離散系の伝達関数における極の次数は、前記電池の交流等価回路の連続系の伝達関数における極の次数よりも高次であるものとして、前記電池を含む系の離散系の伝達関数の推定演算を行うものとする。

【0021】また、請求項9の発明では、前記請求項2の電池の状態解析方法における第2の工程は、前記電池を含む系の離散系の伝達関数の係数パラメータに前記電池の交流等価回路から定めた初期値を与え、推定演算の収束性を高めるものとする。

【0022】また、請求項10の発明では、前記請求項2の電池の状態解析方法において、前記第2の工程において求めた離散系の伝達関数から、この離散系の伝達関数における極を求めた後、求めた極を前記電池の交流等価回路の連続系の伝達関数における極に変換する第3の工程を備え、前記第3の工程において求めた前記電池の交流等価回路の連続系の伝達関数における極を用いて、前記電池の状態を解析するものとする。

【0023】そして、請求項11の発明では、前記請求項10の電池の状態解析方法において、前記第1の工程は、交流信号源から発生出力された交流信号をインピーダンス素子を介して解析対象の電池に印加するものであり、前記第3の工程は、前記電池を含む系の離散系の伝達関数の分母の多項式から、前記電池の交流等価回路の連続系の伝達関数における極の次数と前記インピーダンス素子のインピーダンスにおける極の次数との和よりも高い次数の項を切り捨てた後、前記離散系の伝達関数における極を求めるものとする。

【0024】また、請求項12の発明では、前記請求項10の電池の状態解析方法において、前記第1の工程は、交流信号源から発生出力された交流信号を解析対象の電池に直接印加するものであり、前記第3の工程は、前記電池を含む系の離散系の伝達関数の分母の多項式から、前記電池の交流等価回路の連続系の伝達関数における極の次数よりも高い次数の項を切り捨てた後、前記離散系の伝達関数における極を求めるものとする。

【0025】そして、請求項13の発明では、前記請求項10の電池の状態解析方法において、前記第3の工程は、前記電池の交流等価回路の連続系の伝達関数における極を求めた後、求めた極を前記電池の周囲温度にしたがって補正するものとする。

【0026】また、請求項14の発明では、前記請求項

10の電池の状態解析方法において、予め求めていた、前記電池の交流等価回路の連続系の伝達関数における極と前記電池の残量との相関関係にしたがって、前記第3の工程において求めた、前記電池の交流等価回路の連続系の伝達関数における極を用いて前記電池の残量を判定する第4の工程を備えているものとする。

【0027】また、請求項15の発明が講じた解決手段は、電池の残量等の状態を解析する電池の状態解析装置として、前記電池にかかる交流電圧及び前記電池に流れる交流電流の時系列データから前記電池を含む系の離散系の伝達関数を推定演算する手段を備え、この手段により推定演算した離散系の伝達関数に基づいて前記電池の状態を解析するものである。

【0028】請求項15の発明によると、離散系の伝達関数の推定演算にはアナログ信号処理は不要であり全てデジタル信号処理によって行うことができるため、電池にかかる交流電圧及び電池に流れる交流電流の時系列データから電池を含む系の離散系の伝達関数を推定演算する手段は、ワンチップマイコンやDSP等によって実現可能になり、装置化した場合のコストが低くなると共に雑音に強くなる。また、前記手段によって求めた離散系の伝達関数からは、例えば電池の交流等価回路の伝達関数における極を求め、電池の交流等価回路の伝達関数における極と電池の状態との間の相関関係を用いて、電池の状態を解析することができる。

【0029】また、請求項16の発明は、請求項15の発明を具体化したものであって、電池の残量等の状態を解析する電池の状態解析装置として、解析対象の電池に交流信号を印加する交流信号印加手段と、前記交流信号印加手段によって前記電池に交流信号が印加されたとき、前記電池にかかる交流電圧及び前記電池に流れる交流電流をサンプリングするサンプリング手段と、前記サンプリング手段によってサンプリングされた交流電圧及び交流電流の時系列データから前記電池を含む系の離散系の伝達関数を推定演算する伝達関数演算手段とを備えているものである。

【0030】そして、請求項17の発明では、前記請求項16の電池の状態解析装置における交流信号印加手段は、交流信号を発生出力する交流信号源と、インピーダンス素子とを有しており、前記交流信号源から発生出力された交流信号を前記インピーダンス素子を介して解析対象の電池に印加するものとする。

【0031】請求項17の発明によると、インピーダンス素子によって電池と交流信号源との間に直流パスが形成されるのを防ぐことができる。

【0032】さらに、請求項18の発明では、前記請求項17の電池の状態解析装置における交流信号源は、疑似ランダム雑音信号を発生出力する雑音源であるものとする。

【0033】請求項18の発明によると、疑似ランダム

雑音信号を電池に印加することにより、電池の交流等価回路の連続系の伝達関数における極の周波数を全て含む帯域を有するような信号が電池に印加されることになるので、周波数掃引が不要になる。

【0034】そして、請求項19の発明では、前記請求項16の電池の状態解析装置における交流信号印加手段は、直流オフセット電圧を有する交流信号を発生出力する電圧オフセット交流信号源を有しており、前記電圧オフセット交流信号源から発生出力された交流信号を解析対象の電池に印加するものとする。

【0035】請求項19の発明によると、直流オフセット電圧を電池の直流電圧に合わせることによって電池と電圧オフセット交流信号源との間に直流パスが形成されるのを防ぐことができるので、インピーダンス素子が不要になる。

【0036】さらに、請求項20の発明では、前記請求項19の電池の状態解析装置における電圧オフセット交流信号源は、直流オフセット電圧を有する疑似ランダム雑音信号を発生出力する雑音源であるものとする。

【0037】請求項20の発明によると、疑似ランダム雑音信号を電池に印加することにより、電池の交流等価回路の連続系の伝達関数における極の周波数を全て含む帯域を有するような信号が電池に印加されることになるので、周波数掃引が不要になる。

【0038】そして、請求項21の発明では、前記請求項18又は20の電池の状態解析装置における雑音源は、M系列符号あるいはGoldd符号を用いた雑音源であるものとする。

【0039】そして、請求項22の発明では、前記請求項16の電池の状態解析装置において、前記伝達関数演算手段によって求められた前記電池を含む系の離散系の伝達関数からこの離散系の伝達関数における極を求めると共に、求めた極を前記電池の交流等価回路の連続系の伝達関数における極に変換する極算出手段を備え、前記極算出手段によって求めた前記連続系の伝達関数における極に基づいて、前記電池の状態を解析するものとする。

【0040】さらに、請求項23の発明では、前記請求項22の電池の状態解析装置における極算出手段は、前記電池を含む系の離散系の伝達関数の分母の多項式を因数分解して、前記離散系の伝達関数における極の複素解を求める因数分解演算手段と、前記因数分解演算手段によって求めた極の複素解から虚数部を切り捨て、残りの実数部から、前記電池の正極及び負極に対応する前記離散系の伝達関数における極を特定する極演算手段と、前記極演算手段によって特定した前記電池の正極及び負極に対応する前記離散系の伝達関数における極を、前記サンプリング手段によるサンプリング周期に基づいて、前記電池の交流等価回路の連続系の伝達関数における極に変換する極変換演算手段とを備えているものとする。

【0041】そして、請求項24の発明では、前記請求項23の電池の状態解析装置において、前記交流信号印加手段は、交流信号を発生出力する交流信号源と、インピーダンス素子とを有しており、前記交流信号源から発生出力された交流信号を前記インピーダンス素子を介して解析対象の電池に印加するものであり、前記因数分解演算手段は、前記電池を含む系の離散系の伝達関数の分母の多項式を、前記電池の交流等価回路の連続系の伝達関数における極の次数と前記インピーダンス素子のインピーダンスにおける極の次数との和よりも高い次数の項を切り捨てた上で因数分解を行い、前記離散系の伝達関数における極を求めるものとする。

【0042】また、請求項25の発明では、前記請求項23の電池の状態解析装置において、前記交流信号印加手段は、直流オフセット電圧を有する交流信号を発生出力する交流信号源を有しており、前記交流信号源から発生出力された交流信号を解析対象の電池に直接印加するものであり、前記因数分解演算手段は、前記電池を含む系の離散系の伝達関数の分母の多項式を、前記電池の交流等価回路の連続系の伝達関数における極の次数よりも高い次数の項を切り捨てた上で因数分解を行い、前記離散系の伝達関数における極を求めるものとする。

【0043】また、請求項26の発明では、前記請求項22の電池の状態解析装置において、前記電池の周囲温度を計測する温度計測手段を備え、前記極算出手段は、求めた前記電池の交流等価回路の連続系の伝達関数における極を、前記温度計測手段によって計測した前記電池の周囲温度にしたがって補正する極温度補正手段を備えているものとする。

【0044】そして、請求項27の発明では、前記請求項22の電池の状態解析装置において、予め求めた、前記電池の交流等価回路の連続系の伝達関数における極と前記電池の残量との相関関係にしたがって、前記極算出手段によって求めた前記電池の交流等価回路の連続系の伝達関数における極に基づいて、前記電池の残量を判定する状態判定手段を備えているものとする。

【0045】ここで、交流信号には複数の周波数成分を含んだ交流信号を含む。さらに、交流信号として、パルス波、及びデューティー比の異なったパルス波の合成波も含む。また、ここでいう極とは特異点を意味し、極とその逆数関係にある零点とは本質的に同義である。また、ここでは交流信号源の一手段として疑似ランダム雑音発生手段を用いている。

【0046】

【発明の実施の形態】まず、本発明の基本的な原理について説明する。

【0047】(1)電池伝達関数の定義

電池の交流インピーダンス測定において、直流電圧に重畳した振幅10mV以下程度の微小交流信号によって電池の電極及び電解液の界面を分極すると、界面をほとんど

乱すことはなく、得られる交流信号は直流電位近傍の変化とみなすことができる。

【0048】微小交流信号を与えたときの電池の交流等価回路は図1のようになる。電極と電解液との接触によるインピーダンスは、電極界面と電解液界面との間に生成される電気2重層の容量とファラデーインピーダンスとの並列接続によって表すことができる。ここで電極反応は電荷移動過程が律速であると仮定すると、ファラデーインピーダンスは電極の分極抵抗（電荷移動抵抗）と電極の容量成分との直列接続で表される。図1において、 $31p$ 、 $31n$ は正極及び負極の分極抵抗、 $32p$ は正極における電気2重層容量、 $32n$ は負極における電気2重層容量、 $33p$ 、 $33n$ は正極及び負極の容量成分、 $34$ は電解液の抵抗であり、正極のインピーダンスは分極抵抗 $31p$ 及び容量成分 $33p$ からなるファラデーインピーダンスと電気2重層容量 $32p$ との並列接続によって表されており、負極のインピーダンスは分極抵抗 $31n$ 及び容量成分 $33n$ からなるファラデーインピーダンスと電気2重層容量 $32n$ との並列接続によって表されている。

【0049】ここで、分極抵抗 $31p$ の抵抗値を $R_p$ 、分極抵抗 $31n$ の抵抗値を $R_n$ とすると、

【0050】

【数1】

$$\text{正極: } R_p = \frac{RT}{nF i_{op}} \quad \dots (1)$$

$$\text{負極: } R_n = \frac{RT}{nF i_{on}} \quad \dots (2)$$

$$G(s) = \frac{v_B}{i_B} = H_I(s) + H_B(s) = \frac{1}{sR_p C_{dp} + 1} + R_{el} + \frac{1}{sR_n C_{dn} + 1} \quad \dots (4)$$

【0057】ここで、 $v_B$ は交流インピーダンス測定時において電池に印加される電圧、 $i_B$ は交流インピーダンス測定時において電池を流れる電流である。全伝達関数 $G(s)$ の極の次数は、インピーダンス素子のインピーダンス $H_I(s)$ における極の次数と電池伝達関数 $H_B(s)$ における極の次数との和となる。

【0058】図3は式(3)に示すような電池伝達関数 $H_B(s)$ を有する電池の複素インピーダンスプロットである。図3に示すように、電池の複素インピーダンスは、交流信号の角周波数 $\omega$ の増加に伴い、負極による半円軌跡及び正極による半円軌跡を経て、 $\omega = \infty$ のときに電解液抵抗 $34$ の抵抗値 $R_{el}$ になる。第1極 $s_1$ 及び第2極 $s_2$ における角周波数をそれぞれ $\omega_1$ 、 $\omega_2$ とすると、

$$\omega_1 = -1/R_n C_{dn} \quad [\text{rad/s}] \quad \dots (5)$$

$$\omega_2 = -1/R_p C_{dp} \quad [\text{rad/s}] \quad \dots (6)$$

で与えられる。

【0051】と表される。式(1)、(2)において、 $R$ はボルツマン定数、 $T$ は絶対温度、 $n$ は電極反応の電荷数、 $F$ はファラデー定数、 $i_{op}$ は正極の交換電流、 $i_{on}$ は負極の交換電流を示す。また図1において、 $C_{dp}$ は正極における電気2重層容量 $32p$ の容量値、 $C_{dn}$ は負極における電気2重層容量 $32n$ の容量値、 $R_{el}$ は電解液の抵抗 $34$ の抵抗値である。

【0052】交流信号の周波数が比較的高く、電極の容量成分 $33p$ 、 $33n$ が電池のインピーダンスに与える影響を無視できる場合には、電池の交流等価回路は、図1から容量成分 $33p$ 、 $33n$ を削除して図2のようにみなすことができる。

【0053】交流分極中の電池を時不変の線形システムと仮定すると、図2に示す交流等価回路における電池伝達関数 $H_B(s)$ は、

【0054】

【数2】

$$H_B(s) = \frac{1}{sR_p C_{dp} + 1} + R_{el} + \frac{1}{sR_n C_{dn} + 1} \quad \dots (3)$$

【0055】となる。また、電池の交流インピーダンス測定に用いるインピーダンス素子のインピーダンスを $H_I(s)$ とすると、電池及びインピーダンス素子からなる系の全伝達関数 $G(s)$ は次のように定義される。

【0056】

【数3】

【0059】(2) 伝達関数の推定演算

本発明では、電池を時不変の線形システムであると仮定して、式(4)で表される全伝達関数 $G(s)$ を、次のような形の離散系における一般的な伝達関数として与える。

【0060】

【数4】

$$G(z, \theta) = \frac{b_1 z^{-1} + \dots + b_n z^{-n}}{1 + a_1 z^{-1} + \dots + a_n z^{-n}} = \frac{B(z)}{A(z)} \quad \dots (7)$$

【0061】電池の入出力信号に基づいて式(7)の係数を決定することによって、伝達関数 $G(z, \theta)$ を推定する。一般に、入出力データに基づいてシステムの伝達関数を推定する方法をシステム同定という。図4はシステム同定に用いるモデルを表す図であり、雑音の伝達関数 $H_n(z, \theta)$ を、

$$H_n(z, \theta) = 1/A(z) \quad \dots (8)$$

で表すとき、このモデルは外部入力をもつ自己回帰 (ARX) モデルとなる。図4に示すように出力信号  $y(t)$  が入力信号  $u(t)$  及び雑音信号  $e(t)$  の1次結合で与えられるとすると、出力応答は、

$$A(z)y(t) = B(z)u(t) + e(t) \quad \dots (9)$$

となる。  $e(t)$  を、

【0062】推定する伝達関数  $G(z, \theta)$  の係数パラメータ  $\theta$ 、入出力データ系列による回帰ベクトル  $\phi$

【0063】

【数5】

$$\theta = (a_1 \dots a_n b_1 \dots b_n)^T \quad \dots (10)$$

$$\phi(t) = [-y(t-1) \dots -y(t-n) u(t-1) \dots u(t-m)]^T \quad \dots (11)$$

【0064】とすると、式(9)は、

で解くと、係数パラメータ  $\theta(t)$  は、

$$y(t) = \phi^T(t) \theta + e(t) \quad \dots (12)$$

【0065】

と表され、式(12)の行列演算を例えばRLS逐次法

【数6】

$$\theta(t) = \theta(t-1) + K(t)e(t)$$

$$e(t) = y(t) - \phi^T(t) \theta(t-1)$$

$$K(t) = \frac{p(t-1)\phi(t)}{1 + \phi^T(t)p(t-1)\phi(t)}$$

$$p(t) = \frac{p(t-1) - p(t-1)\phi(t)\phi^T(t)p(t-1)}{1 + \phi^T(t)p(t-1)\phi(t)} \quad \dots (13)$$

【0066】で与えられる。この係数パラメータ  $\theta$

( $t$ ) は所定回数の繰り返し演算後、収束する。

【0067】なお演算の初期値は、一般的には、

$$\theta(0) = 0, P(0) = \alpha Id \quad \dots (14)$$

とするが、例えば

$$R_p = 0.001 \sim 10 \quad [\Omega]$$

$$R_n = 0.001 \sim 10 \quad [\Omega]$$

$$C_{dp} = 10^{-6} \sim 10^{-2} [F]$$

$$C_{dn} = 10^{-6} \sim 10^{-2} [F] \quad \dots (15)$$

の範囲内の初期値を用いると収束までの繰り返し演算を減らすことができる。

【0068】(3) 離散系の極の算出

離散系と連続系の極の数を一致させる場合について説明する。

【0069】(3-1) インピーダンス素子が純抵抗の場合

インピーダンス素子が純抵抗のとき式(4)に示す全伝達関数  $G(s)$  における極の次数は2次になるので、式(7)に示す離散系の伝達関数  $G(z, \theta)$  における極の次数も2次であるとしてシステム同定を行う。すなわち式(7)は、

【0070】

【数7】

$$G(z, \theta) = \frac{b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2}}{1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2}} \quad \dots (16)$$

【0071】となる。ここで式(16)において各パラメータ  $\theta$  は収束しているものとする式(16)に示す離散系の伝達関数  $G(z, \theta)$  における極は、

【0072】

【数8】

$$z^2 + \left(\frac{a_1}{b_2} + \frac{1}{b_1}\right)z + \left(\frac{a_2}{b_2} + \frac{a_1}{b_1}\right) = 0 \quad \dots (17)$$

【0073】に示すような  $z$  の二次方程式の解で与えられる。ここで式(17)の係数を、

【0074】

【数9】

$$\begin{aligned} \left(\frac{a_1}{b_2} + \frac{1}{b_1}\right) &= A_1 \\ \left(\frac{a_2}{b_2} + \frac{a_1}{b_1}\right) &= A_2 \quad \dots (18) \end{aligned}$$

【0075】とおくと、解の公式により2つの極が求まる。

【0076】

【数10】

$$z_1, z_2 = \frac{-A_1 \pm \sqrt{A_1^2 - 4A_2}}{2} \dots (19)$$

【0077】この解は一般的に次のような複素解で与えられる。

$$z_1 = \sigma_1 + j\beta_1$$

$$z_2 = \sigma_2 + j\beta_2 \dots (20)$$

さらに、本来求めたい連続系の全伝達関数 $G(s)$ における2つの極は $s$ 平面上の実軸上に存在するので、離散系の伝達関数 $G(z, \theta)$ においても2つの極は $z$ 平面の実軸上にあるとの根拠から、式(20)の虚数成分を切り捨てた、

$$z_1 = \sigma_1$$

$$z_2 = \sigma_2 \dots (21)$$

を離散系における電池伝達関数 $G(z, \theta)$ の極とする。

$$|z_2| < |z_1| \dots (22)$$

にしたがって極 $z_1$ と $z_2$ との絶対値を大小比較し、式(22)が真のときは極 $z_1$ は電池の負極に対応する極、極 $z_2$ は電池の正極に対応する極となり、式(22)が偽のときは極 $z_1$ は電池の正極に対応する極、極 $z_2$ は電池の負極に対応する極となる。

【0079】(3-2)インピーダンス素子が純容量を含む場合

インピーダンス素子が純容量を含むとき、式(4)に示す全伝達関数 $G(s)$ における極の次数は3次になるので式(7)に示す離散系の伝達関数 $G(z, \theta)$ における極の次数も3次であるとしてシステム同定を行う。すなわち式(7)は、

【0080】

【数11】

$$G(z, \theta) = \frac{b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2} + b_3 z^{-3}}{1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2} + a_3 z^{-3}} \dots (23)$$

【0081】となる。式(23)に示す伝達関数 $G(z, \theta)$ の極は、

【0082】

【数12】

$$z^3 + b_3 \left( \frac{a_1}{b_3} + \frac{1}{b_2} \right) z^2 + b_3 \left( \frac{1}{b_1} + \frac{a_1}{b_2} + \frac{a_2}{b_3} \right) z$$

$$+ b_3 \left( \frac{a_1}{b_1} + \frac{a_2}{b_2} + \frac{a_3}{b_3} \right) = 0 \dots (24)$$

【0083】に示すような $z$ の三次方程式の解で与えられる。そして3つの極 $z_1, z_2, z_3$ は、

【0084】

【数13】

$$z_1 = y_1 - \frac{r}{3}, \quad z_2 = y_2 - \frac{r}{3}, \quad z_3 = y_3 - \frac{r}{3}$$

$$y_1 = u_1 + v_1, \quad y_2, y_3 = -\frac{u_1 + v_1}{2} \pm \frac{u_1 - v_1}{2} \sqrt{3}i$$

【0085】この解は一般的には次のような複素解で与えられる。

$$z_0 = \sigma_0 + j\beta_0$$

$$z_1 = \sigma_1 + j\beta_1$$

$$z_2 = \sigma_2 + j\beta_2 \dots (26)$$

さらに、本来求めたい連続系の全伝達関数 $G(s)$ の3つの極は $s$ 平面上の実軸上に存在するので、離散系の伝達関数 $G(z, \theta)$ においても極は $z$ 平面の実軸上にあるとの根拠から、式(26)の虚数成分を切り捨てる。その絶対値の大きい順に $z_0, z_1, z_2$ は、

$$z_0 = \sigma_0$$

$$z_1 = \sigma_1$$

$$z_2 = \sigma_2 \dots (27)$$

として求まる。このうち絶対値の最も大きい極 $z_0$ は $z=1$ となるべきインピーダンス素子の極として除き、残りの極 $z_1, z_2$ を、

$$|z_2| < |z_1| \dots (28)$$

にしたがってその絶対値を大小比較する。式(28)が真のときは極 $z_1$ は電池の負極に対応する極、極 $z_2$ は電池の正極に対応する極となり、式(28)が偽のときは極 $z_1$ は電池の正極に対応する極、極 $z_2$ は電池の負極に対応する極となる。

【0086】(4)離散系から連続系への極の変換

図5は $z$ 平面から $s$ 平面上への写像を表す図である。図5に示すような写像によって、離散系における極 $z_1, z_2$ から式(5)、(6)に示すような連続系における極 $s_1, s_2$ が求められる。離散系におけるサンプリング時間を $T[s]$ とすると、 $z$ 平面から $s$ 平面への極の写像は、

【0087】

【数14】



$$u_1 = 3 \sqrt{-\frac{q}{2} + \sqrt{\frac{q^2}{4} + \frac{p^3}{27}}}, \quad v_1 = 3 \sqrt{-\frac{q}{2} + \sqrt{\frac{q^2}{4} + \frac{p^3}{27}}}$$

$$p = s - \frac{r^2}{3}, \quad q = \frac{2r^3}{27} - \frac{rs}{3} + t$$

$$r = A_1, \quad s = A_2, \quad t = A_3$$

$$A_1 = b_3 \left( \frac{a_1}{b_3} + \frac{1}{b_2} \right)$$

$$A_2 = b_3 \left( \frac{1}{b_1} + \frac{a_1}{b_2} + \frac{a_2}{b_3} \right)$$

$$A_3 = b_3 \left( \frac{a_1}{b_1} + \frac{a_2}{b_2} + \frac{a_3}{b_3} \right) \cdots (25)$$

$$s = \frac{1}{T} \ln z \cdots (29)$$

【0088】にしたがって行われる。

(5) 電池の状態と極の推移の相関

電池の状態は、例えば残量によって評価することができる。残量とは電池に充電された電気量の残りのことをいう。電池伝達関数における極の推移と、電池の残量との間には相関がある。

【0089】図6はリチウムイオン電池の複素インピーダンスプロットを示す図であり、電池の残量の変化に伴う複素インピーダンスプロットの変化を示す図である。同図中、(a)、(b)、(c)、及び(d)はそれぞれ残量が100%、50%、10%及び0%の場合である。図2に示す分極抵抗 $31p$ 、 $31n$ それぞれの抵抗値 $R_p$ 、 $R_n$ は、電池の充放電に伴う正極及び負極の化学反応に起因する交換電流密度 $i_{op}$ 、 $i_{on}$ の変化に応じて変化する。このため、電池の残量の変化に伴って分極抵抗 $31p$ 、 $31n$ の抵抗値 $R_p$ 、 $R_n$ が変化するの、図6に示すように、複素インピーダンスプロットもまた電池の残量の変化に伴って変化する。したがって、極の角周波数もまた電池の残量の変化に伴い変化する。

【0090】図7は電池の残量と電池伝達関数における極の角周波数 $\omega$ との相関を示すグラフであり、同図中、(a)及び(b)はそれぞれ第1極及び第2極のものである。図7に示すように、極の角周波数 $\omega$ が高いほど電池の残量は多く、極の角周波数 $\omega$ が低いほど電池の残量は少なくなる。

【0091】(実施の形態)以下、本発明の一実施形態について図面を参照しながら説明する。図8は本発明の実施形態に係る電池の状態解析装置の構成を示す図であり、同図中、(a)は電池に交流信号を印加する系を示す図、(b)は電池の状態解析を行う部分の構成を示すブロック図である。図8に示す本実施形態に係る電池の

状態解析装置は、解析対象の電池11の状態例えば残量の度合を推定評価するものである。図8において、11は解析対象の電池、12は電池11に印加する交流信号を出力する疑似ランダム雑音発生手段、13は電池11と疑似ランダム雑音発生手段12との間に設けられたインピーダンス素子、14は電池11にかかる交流電圧 $v_B$ 及び電池11に流れる交流電流 $i_B$ をサンプリングしてアナログ値からデジタル値へ変換するサンプリング手段としてのアナログ/デジタル変換器である。

【0092】また15はアナログ/デジタル変換器14の出力データを基にして電池11及びインピーダンス素子13からなる系の特性を表す離散系の伝達関数を推定演算する伝達関数演算手段、16は伝達関数演算手段15によって推定演算された離散系の伝達関数から電池11の連続系の伝達関数における極を算出する極算出手段、17は極算出手段16によって算出された極を基にして電池の状態を判定する状態判定手段、18は電池11の周囲温度を計測して極算出手段16に出力する温度計測手段としての温度センサである。伝達関数演算手段15、極算出手段16及び状態判定手段17は本実施形態ではマイクロコンピュータ20によって実現されている。

【0093】図9は図8に示す本実施形態に係る電池の状態解析装置の動作を示すフローチャートである。以下、図9を参照して図8に示す本実施形態に係る電池の状態解析装置の動作について説明する。

【0094】まずステップS1において、解析対象となる電池11に交流信号を印加する。このとき周波数が可変である疑似ランダム雑音発生手段を用いて電池11の伝達関数における極の周波数を含むよう周波数掃引してもよいが、解析を効率よく行うことができるように、本



実施形態では疑似ランダム雑音発生手段12は電池11の伝達関数における極の周波数を十分包含する周波数帯域の交流信号を出力するものとしている。

【0095】図10は疑似ランダム雑音発生手段12の周波数特性の一例を示すグラフであり、横軸は周波数[Hz]、縦軸は振幅[dB]である。図10に示すように、疑似ランダム雑音発生手段12から出力される交流信号の周波数帯域は、電池11の伝達関数の第1極S1における角周波数 $\omega_1$ 及び第2極S2における角周波数 $\omega_2$ の成分を含んでいる必要がある。このような疑似ランダム雑音発生手段12を用いることにより、周波数掃引が不要になる。また疑似ランダム雑音発生手段12から出力される交流信号の振幅は電極界面の乱れの影響を無視できる程度以下であり、10mV程度以下である。

【0096】疑似ランダム雑音発生手段12は例えば白色雑音のような雑音信号を発生する雑音源を用いて構成すればよい。また、図11に示すようなM系列符号を用いた雑音源のような、疑似ランダム符号を用いた疑似雑音信号発生手段を用いてもよい。図11において、41は所定の遅延時間を有する遅延演算子としてのフリップフロップ、42は排他的論理和演算器である。なお図11では、疑似雑音信号発生手段をフリップフロップと排他的論理和演算器を用いたハードウェアによって実現しているが、マイクロプロセッサのメモリに疑似ランダム符号パターンを記憶して出力させる等のソフトウェアを用いて実現する方法もある。

【0097】またインピーダンス素子13は、電池11に交流信号を印加する際に電池11と疑似ランダム雑音発生手段12との間に直流パスが形成されるのを防ぐものであり、図8に示す本実施形態に係る電池の状態解析装置では、容量が十分大きく、かつ容量値が既知であるコンデンサをインピーダンス素子13として用いている。

【0098】次にステップS2において、電池11にかかる交流電圧 $v_B$ 及び電池11に流れる交流電流 $i_B$ をサンプリングして、離散系の伝達関数の推定演算に用いる時系列入出力データを求める。ステップS2はアナログ/デジタル変換器14によって行われる。電池11にかかる交流電圧 $v_B$ 及び電池11に流れる交流電流 $i_B$ はそれぞれ、図4に示すARXモデルにおける入力信号 $u(t)$ 及び出力信号 $y(t)$ に相当し、したがってアナログ/デジタル変換器14によって所定の時間間隔でサンプリングされたデジタル値から、式(11)に示すような入出力データ系列による回帰ベクトル $\phi(t)$ が求められる。言い換えると、電池11にかかる交流電圧 $v_B$ 及び電池11に流れる交流電流 $i_B$ は、サンプリング手段としてのアナログ/デジタル変換器14を介して、離散系の伝達関数の推定演算に用いられる時系列入出力データとなる。

【0099】次にステップS3において、ステップS2で求めた時系列入出力データを用いて離散系の伝達関数を推定演算する。ステップS3は伝達関数演算手段15によって、本発明の基本的な原理における(2)電池伝達関数の推定演算の項で説明した手順にしたがって行われる。すなわち、伝達関数演算手段15は、アナログ/デジタル変換器14によってサンプリングされた交流電圧 $v_B$ 、交流電流 $i_B$ を時系列入出力データ $u(t)$ 、 $y(t)$ として式(11)の回帰ベクトル $\phi(t)$ を求め、式(14)又は(15)で与えられる初期値を用いて式(13)に示すような伝達関数推定演算を行い、式(10)の係数パラメータ $\theta(t)$ を求めて、式(7)に示すような離散系の伝達関数を求める。

【0100】次にステップS4において、ステップS3で求めた離散系の伝達関数から連続系の伝達関数における極を算出する。ステップS4は、極算出手段16によって、本発明の基本的な原理における(3)離散系の極の算出、及び(4)離散系から連続系への極の変換の項で説明した手順にしたがって行われる。

【0101】図12は極算出手段16の構成を示すブロック図である。まず、因数分解演算手段16aは、ステップS3で伝達関数演算手段15によって推定された離散系の伝達関数の分母である有理多項式を因数分解する。本実施形態ではインピーダンス素子13として純容量が与えられているので、本発明の基本的な原理における(3-2)で説明したように、推定された式(7)に示すような伝達関数の分母である多項式 $A(z)$ を、3次より高次の項を切り捨てた上で式(23)から式(25)にしたがって因数分解する。

【0102】極演算手段16bは、式(27)に示すように、式(25)から得られる複素解から虚数部を切り捨てて実数部のみとし、更に式(28)に従って大小比較を行って電池11の正極及び負極に対応する極を決定する。

【0103】極変換演算手段16dは、式(29)に従ってサンプリング周期 $T$ を用いて $z$ 領域から $s$ 領域への極の変換を行う。因数分解演算手段16a、極演算手段16b及び極変換演算手段16cによって、離散系の伝達関数から式(3)で与えられる連続系の電池伝達関数 $H_B(s)$ における極が求められる。

【0104】本実施形態における極算出手段16は極温度補正手段16dをさらに備えており、因数分解演算手段16a、極演算手段16b及び極変換演算手段16cによって求められた、連続系の電池伝達関数 $H_B(s)$ における極を、温度センサ18によって計測された電池の周囲温度によって補正している。

【0105】極の温度補正は以下のように行う。温度センサ18は電池11の表面温度又は周囲温度を計測する。式(1)、(2)に示すように、正極の分極抵抗 $31p$ の抵抗値 $R_p$ 及び負極の分極抵抗 $31n$ の抵抗値 $R_n$

n は共に絶対温度Tに比例するので、式(5)、(6)によって示される極の角周波数は絶対温度に反比例する。ここで、電池11内部の温度は温度センサ18によって計測した温度と等しいと仮定する。基準温度(極と電池の状態との相関を得た実験温度)をTa [K]、温度センサ18によって計測した温度をTd [K]とする

$$\text{正極: } R_p' = R_p \left(1 + \frac{T_d - T_a}{273}\right) \quad [\Omega] \quad \cdots (30)$$

$$\text{負極: } R_n' = R_n \left(1 + \frac{T_d - T_a}{273}\right) \quad [\Omega] \quad \cdots (31)$$

【0107】のようになる。式(30)、(31)から、基準温度Taにおける極の角周波数 $\omega_1$ 、 $\omega_2$ は、温度Tdにおける極の角周波数 $\omega_1'$ 、 $\omega_2'$ を次式の

$$\text{正極: } \omega_1 = \omega_1' \left(1 + \frac{T_d - T_a}{273}\right) \quad [\text{rad/s}] \quad \cdots (32)$$

$$\text{負極: } \omega_2 = \omega_2' \left(1 + \frac{T_d - T_a}{273}\right) \quad [\text{rad/s}] \quad \cdots (33)$$

【0109】となる。極温度補正手段16dは、極変換演算手段16cによって求められた連続系の電池伝達関数HB(s)における極の角周波数を式(32)、(33)にしたがって温度補正して出力する。

【0110】最後にステップS5において、ステップS4で求められた極の角周波数を基にして、電池の残量を判定する。ステップS5は状態判定手段17によって、本発明の基本的な原理における(5)電池の状態と極の推移との相関の項で説明した手順にしたがって行われる。

【0111】なお、疑似ランダム雑音発生手段12が電池11と等しい直流オフセット電圧を持つ場合には、インピーダンス素子13を省略することが可能である。図13はインピーダンス素子を介さずに電池11に交流信号を印加する電池の状態解析装置の構成を示す図であり、交流信号を電池11に印加する系のみを示している。図13において、12Aは電池11と等しい直流オフセット電圧を持つ電圧オフセット疑似ランダム雑音発生手段である。電圧オフセット疑似ランダム雑音発生手段12Aは、図8に示す疑似ランダム雑音発生手段12と同様に、雑音信号を発生する電圧オフセット雑音源によって構成してもよい。

【0112】図13の電池の状態解析装置も図8に示す電池の状態解析装置と同様に、電池11にかかる交流電圧vB及び電池11に流れる交流電流iBをサンプリングして離散系の伝達関数を演算することによって、電池11の状態を判定することができる。ただし図13の電池の状態解析装置の場合、本発明の基本的な原理における(3-1)インピーダンス素子が純抵抗の場合に該当

と、基準温度Taにおける分極抵抗の抵抗値Rp、Rnと温度Tdにおける分極抵抗の抵抗値Rp'、Rn'との関係は式(1)、(2)から、

【0106】

【数15】

ように補正して求められる。

【0108】

【数16】

するので、極算出手段16を構成する因数分解演算手段16aは、伝達関数演算手段15によって推定された離散系の伝達関数の分母である有理多項式A(z)を、2次より高次の項を切り捨てた上で式(17)から式(19)にしたがって因数分解する。

【0113】なお、伝達関数演算手段15に対して、解析対象の電池11の電極の分極抵抗や容量成分を基にして予め計算した初期値を与える構成としてもよい。これにより、離散系の伝達関数の推定演算の収束性を高めることができる。

【0114】なお、極算出手段16において、極温度補正手段16dは必須の構成要素では、なくてもかまわない。この場合には温度センサ18は不要になる。

【0115】また、伝達関数演算手段15によって求められた離散系の伝達関数から、残量以外の電池の状態を判定する電池の状態解析装置も考えられる。例えば離散系の伝達関数から電池の安全性や劣化具合を判定する等が考えられる。

【0116】なお本実施形態とは別の方法として、推定する離散系の伝達関数の極の次数は任意とし、その極の推移をそのまま電池の残量に対して相関付ける方法も考えられる。例えば、推定演算する離散系の伝達関数の極の次数を、電池11に対して予め定めた交流等価回路の連続系の伝達関数における極の次数に比べて高次のものと仮定する。ここでは、伝達関数の極の次数を30次と仮定すると、伝達関数G(z, θ)は次のような式で表される。

【0117】

【数17】

$$G(z, \theta) = \frac{b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2} + \dots + b_{30} z^{-30}}{1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2} + \dots + a_{30} z^{-30}} \quad \dots (34)$$

【0118】係数パラメータ $\theta$ の収束後、吐き出し法アルゴリズムを用いた演算によって得られた伝達関数 $G(z, \theta)$ の30個の極を求める。図14は30次の極の $z$ 平面における位置の例を示すグラフである。図14に示すように、電池11及びインピーダンス素子12に関連する極を全て抽出しその中の特定の極の推移を解析することによって、電池11の状態の解析を行う。残量の判定は、予め実験等によって残量と相関があると特定された極を観察することによって、行うことができる。

【0119】

【発明の効果】以上のように本発明によると、まず電池を含む系の離散系の伝達関数を推定演算によって求め、この離散系の伝達関数から電池の交流等価回路の連続系の伝達関数における極を求めた上で、電池の交流等価回路の伝達関数における極と電池の残量等の状態との間の相関関係を用いて、電池の状態を解析するので、電池の状態を確実にかつ定量的に行うことができる。

【0120】また、離散系の伝達関数を推定演算するためには、アナログ信号処理は不要であり全てデジタル信号処理によって行うことができるので、ワンチップマイコンやDSP等によるLSI化が可能になり、低コストかつ高精度の電池の状態解析装置を実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の原理を説明するための図であり、電池の交流等価回路を示す回路図

【図2】本発明の原理を説明するための図であり、交流信号の周波数が比較的高いときの電池の交流等価回路を示す回路図

【図3】本発明の原理を説明するための図であり、電池の複素インピーダンスプロットを示すグラフ

【図4】本発明の原理を説明するための図であり、システム同定に用いるARX（自己回帰）モデルを表す図

【図5】本発明の原理を説明するための図であり、電池の離散系の伝達関数から求めた極を連続系の伝達関数における極に変換するための $z$ 平面から $s$ 平面への写像を表す図

【図6】本発明の原理を説明するための図であり、電池の残量の変化に伴う複素インピーダンスプロットの変化を示す図

(a) 残量100%の場合を示す図

(b) 残量50%の場合を示す図

(c) 残量10%の場合を示す図

(d) 残量0%の場合にそれぞれわけて示した図

【図7】本発明の原理を説明するための図であり、電池の残量と電池の伝達関数における極の角周波数との相関を示す図

(a) 第1極の場合を示す図

(b) 第2極の場合にそれぞれわけて示したグラフ

【図8】本発明の一実施形態に係る電池の状態解析装置の構成を示す図

(a) は電池に交流信号を印加する系を示す図

(b) は電池の状態解析を行う部分の構成を示すブロック図

【図9】図8に示す本発明の一実施形態に係る電池の状態解析装置の動作を示すフローチャート

【図10】本発明の一実施形態において用いる疑似ランダム雑音発生手段の周波数特性の一例を示すグラフ

【図11】本発明の一実施形態において疑似ランダム雑音発生手段として用いる、M系列符号を用いた雑音源の構成を示す図

【図12】本発明の一実施形態に係る電池の状態解析装置における極算出手段の構成を示すブロック図

【図13】本発明の一実施形態に係る電池の状態解析装置であってインピーダンス素子を介さずに電池に交流信号を印加するものの構成を示す図であり、交流信号を電池に印加する系のみを示す図

【図14】電池の伝達関数における極の次数が30次であるときの、 $z$ 平面における極の位置の例を示すグラフ

【符号の説明】

VB 電池にかかる交流電圧

iB 電池に流れる交流電流

11 電池

12 疑似ランダム雑音発生手段

12A 電圧オフセット疑似ランダム雑音発生手段

13 インピーダンス素子

14 アナログ/デジタル変換器（サンプリング手段）

15 伝達関数演算手段

16 極算出手段

16a 因数分解演算手段

16b 極演算手段

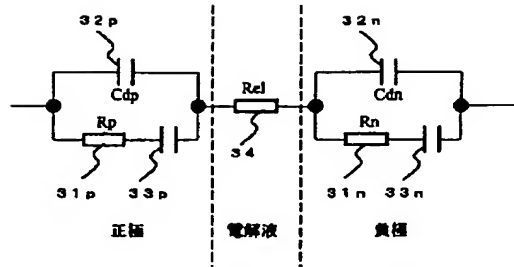
16c 極変換演算手段

16d 極温度補正手段

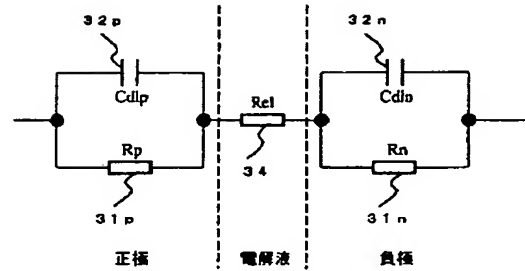
17 状態判定手段

18 温度センサ（温度計測手段）

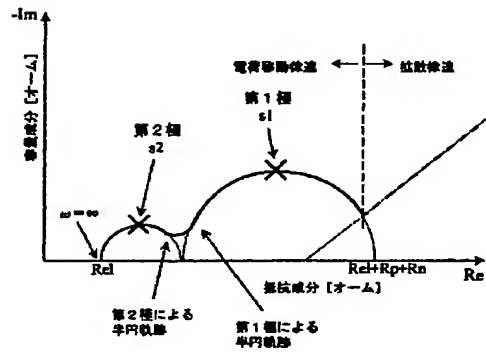
【図1】



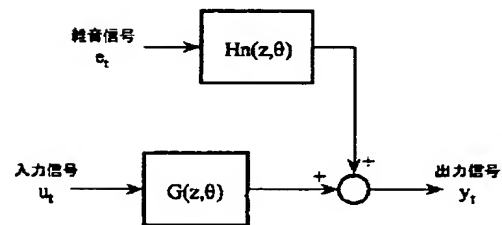
【図2】



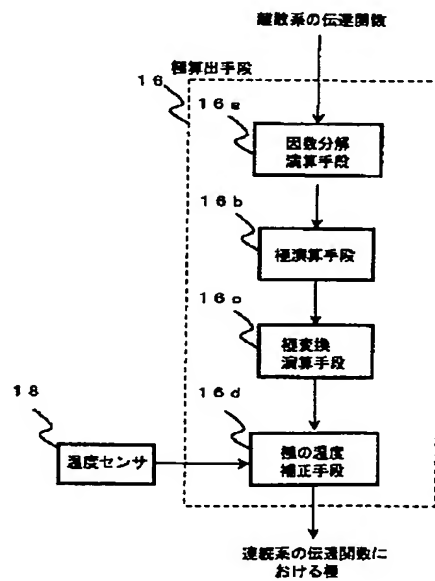
【図3】



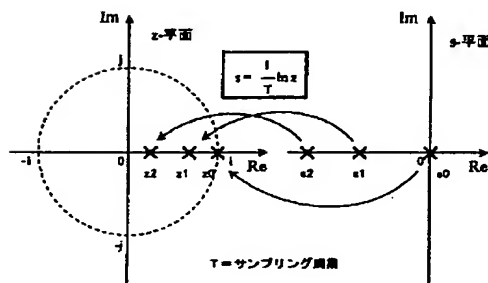
【図4】



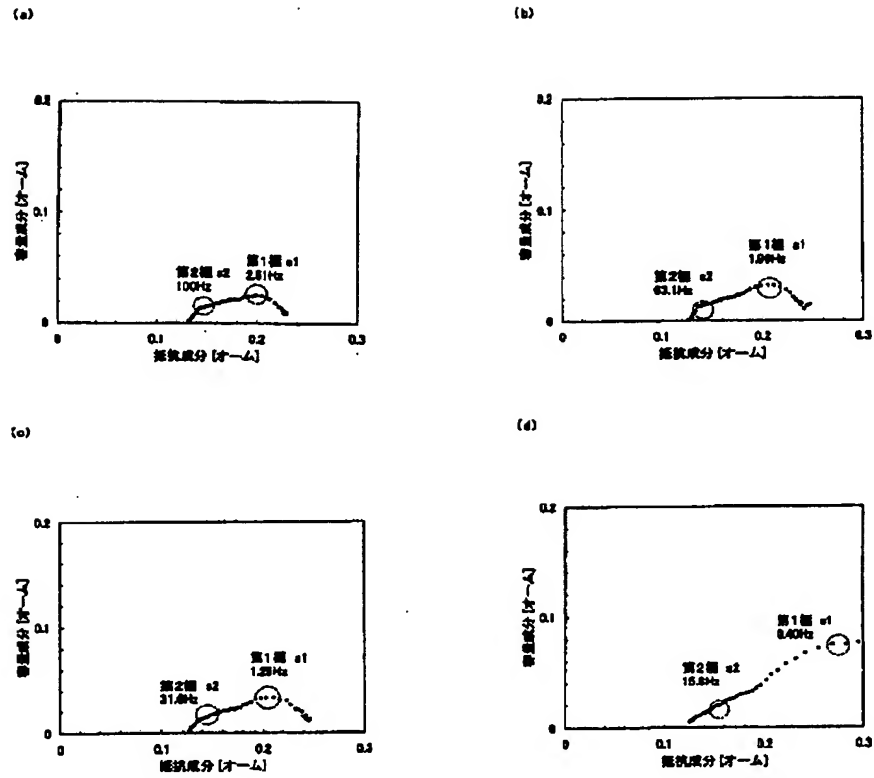
【図12】



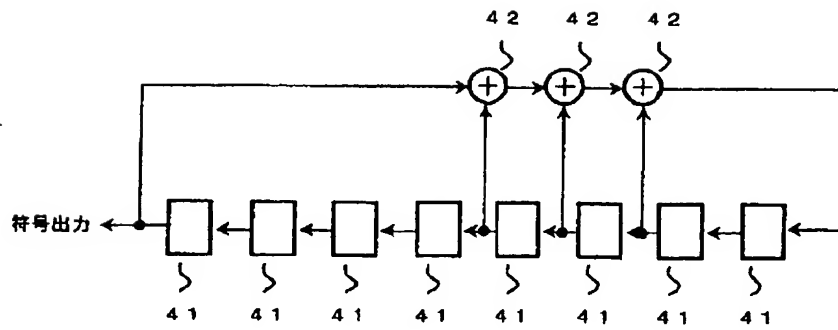
【図5】



【図6】

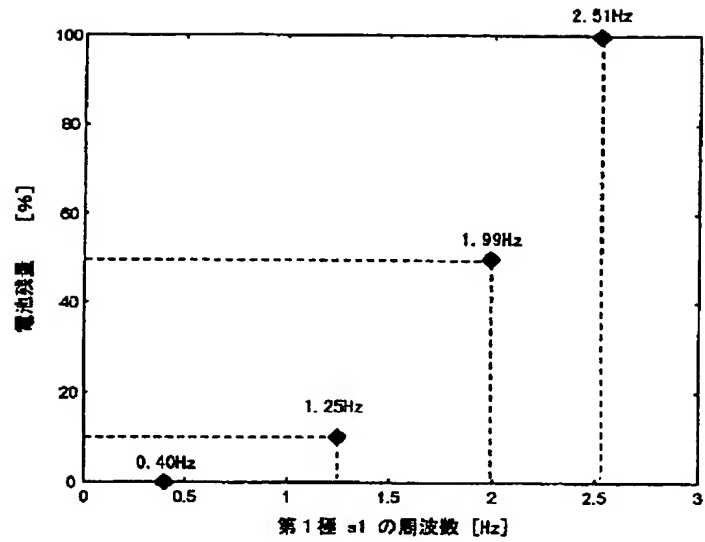


【図11】

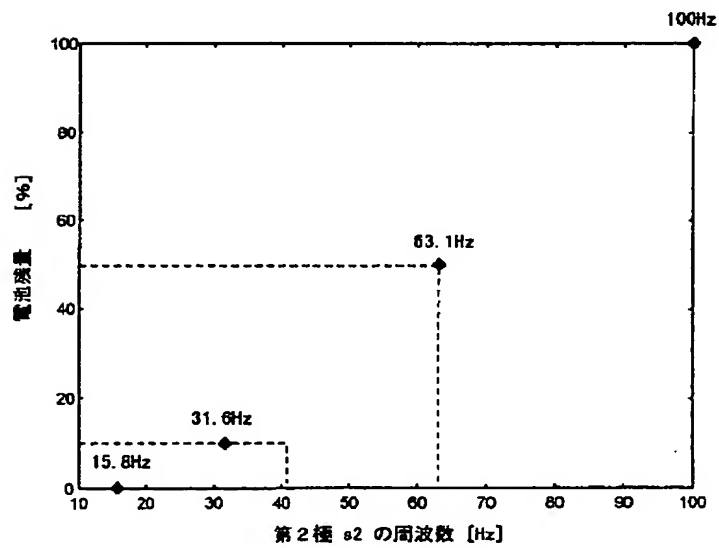


【図7】

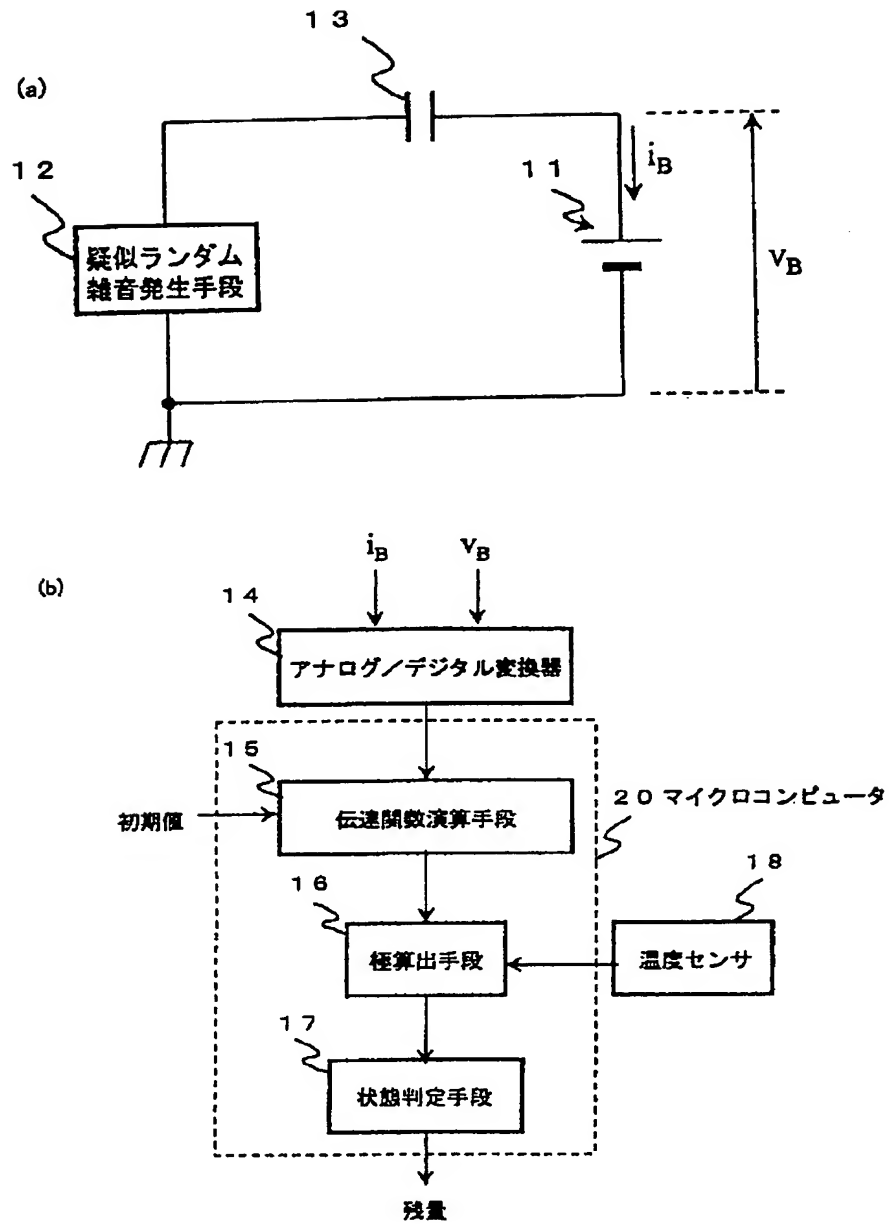
(a)



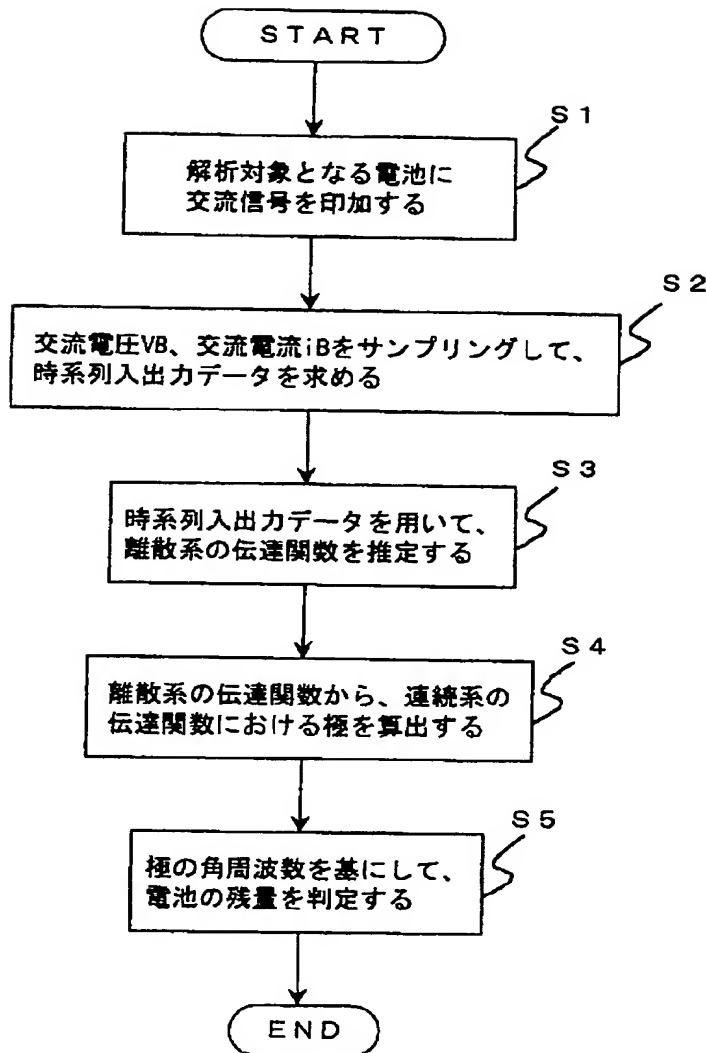
(b)



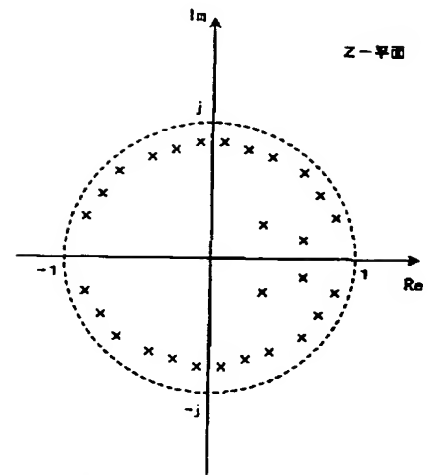
【図8】



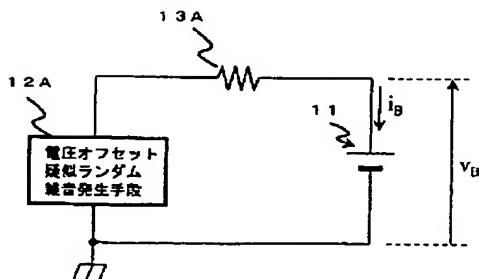
【図9】



【図14】

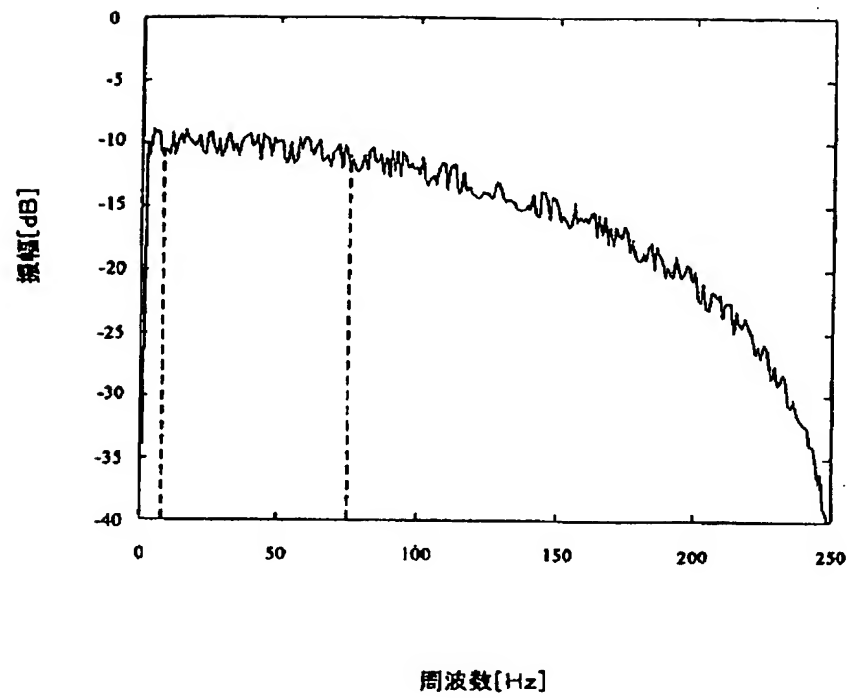


【図13】





【図10】



---

フロントページの続き

(72)発明者 熊本 義則  
大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内

